

# PERILAKU DINAMIK PLAT LANTAI BERBENTANG PANJANG DENGAN DAN TANPA PENGAKU RANGKA BATANG

MUKHLIS ISLAM

Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Bengkulu

Jl. Raya Kandang Limun, Bengkulu. Telp. (0736)21170

Email : m\_islam\_149@yahoo.com, mukhlis.islam@unib.ac.id

## ABSTRACT

*The aim of this research is to study the effectiveness and the characteristics of structural dynamics of long span RC slab which is stiffened by the addition of steel truss and to verify the numerical analysis results which might be used in the next stage as material of consideration to analyze and design the stiffening method of any prototype or existing structure in need. The experimental works are carried out by using 2 RC slabs with length, width and thickness are 4,6 x 0,96 x 0,05 m respectively, while numerical work shall be carried out by applying structural analysis computer program. The experimental results which are structural dynamic characteristics then will be compared to numerical result. The results of the research show that the behavior of the structure under dynamic loading increased significantly by addition of steel truss, indicated by the increase of structural natural frequency between 15,565% up to 33,33% for several type of truss. The results also show that the average difference between experimental and numerical analysis is 4,503%.*

*Keywords: Long Span RC Slab, Structural Stiffening, Dynamic Characteristics, Stiffener Structures, Natural Frequency.*

## 1. PENDAHULUAN

Dalam proses desain struktur, perencanaan yang tidak mencakup aspek dinamika struktur kemungkinan dapat menjadikan struktur yang dihasilkan tidak berperilaku memuaskan dibawah beban dinamik, disebabkan oleh tinjauan perencana dalam desain yang hanya meninjau *strength limit states* tanpa meninjau *serviceability limit states* yang didalamnya tercakup batasan-batasan karakteristik dinamik. Hal ini semakin diperparah dengan penggunaan kemajuan teknologi bahan dan struktur yang cenderung menjadikan dimensi struktur menjadi lebih kecil dengan tujuan membuat struktur yang lebih ringan dan ekonomis, tanpa pertimbangan yang cukup mendalam dalam aspek dinamik.

Pada struktur dengan perilaku dinamik kurang memuaskan yang telah berdiri, perbaikan harus dilakukan untuk meningkatkan karakteristik dinamikanya. Namun permasalahan yang timbul adalah memilih metode yang tepat dalam mendesain perbaikan dengan efektif tanpa terjadi *overlap* pada *limit states* yang telah memenuhi persyaratan dan tanpa terjadi perubahan karakteristik struktur yang tidak diinginkan. Dengan semakin

berkembangnya teknologi informasi dan komputasi, analisis dan desain perbaikan dapat dilakukan dengan mudah dan cepat, namun analisis yang bersifat numeris ini perlu diberikan verifikasi untuk menjamin akurasi hasil perhitungan, disebabkan oleh banyaknya asumsi-asumsi dan anggapan-anggapan yang harus diberikan pada analisis numeris.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik dinamik, khususnya frekuensi alami sistem pelat beton bertulang dengan pembebanan dinamik dan ragam perpindahannya, mengetahui perbandingan antara hasil numerik dengan penelitian laboratorium dari struktur pelat bentang panjang dan menghasilkan bahan pertimbangan dalam analisis dan desain pengaku yang akan digunakan pada struktur *prototype*, serta mengetahui efektifitas perbaikan karakteristik dinamik struktur dengan pengaku rangka baja.

Dalam penelitian ini, diberlakukan batasan-batasan masalah untuk penyederhanaan, yaitu model didasarkan pada karakteristik dinamik gedung *prototype* yang kurang memuaskan, dengan frekuensi natural berkisar antara 3

s.d. 6 Hz, plat beton masih dianggap berperilaku linear, model plat merupakan model plat satu arah serta berperilaku *isotropic*.

## 2. LANDASAN TEORI

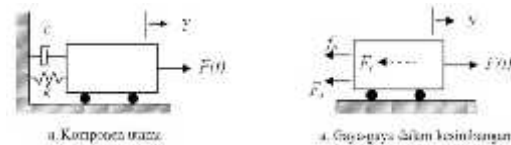
### 2.1 Idealisasi dan Karakteristik Dinamik Struktur

Secara sederhana pengertian dinamik dapat didefinisikan sebagai perubahan waktu, sehingga beban yang dinamik adalah setiap beban yang besar, arah atau posisinya berubah-ubah menurut waktu. Demikian pula respon struktur terhadap beban dinamik yaitu lendutan dan tegangan yang dihasilkan juga berubah terhadap waktu (Clough dan Penzien, 1975).

#### a. Sistem berderajat kebebasan tunggal/*Single degree of freedom* (SDOF)

Pada analisis dinamik struktur, sifat-sifat fisik yang menentukan pada suatu sistem struktur elastik yang dikenakan beban dinamik meliputi massa, kekakuan (sifat elastik), mekanisme kehilangan energi (redaman) dan pengaruh luar berupa eksitasi atau pembebanannya. Pada pemodelan sistem *single degree of freedom* (SDOF), masing-masing sifat tersebut dianggap terpusat pada elemen fisik tunggal (Clough dan Penzien, 1975). Seperti tampak pada Gambar 1 yang merupakan idealisasi dari sistem berderajat kebebasan tunggal dan massa  $m$  dari sistem ini dianggap berada dalam suatu massa tegar. Tumpuan rol membuat massa tersebut terkendala, sehingga hanya dapat bergerak dalam arah translasi horizontal yang sederhana.

Koordinat perpindahan tunggal  $y$  secara lengkap menentukan posisinya. Tahanan elastik terhadap perpindahan diberikan oleh pegas tanpa bobot dengan kekakuan  $k$ , sedangkan mekanisme kehilangan energi (redaman) digambarkan oleh peredam  $c$ . Beban  $F(t)$  yang berubah menurut waktu merupakan mekanisme pembebanan luar yang menimbulkan respon dinamis pada sistem.



Gambar 1. Sistem berderajat kebebasan tunggal yang diidealisasikan

Berdasarkan prinsip **D'Alembert**, bahwa dalam persamaan gerak untuk sistem berderajat kebebasan tunggal diperoleh dengan menggunakan keseimbangan langsung yaitu massa yang menghasilkan gaya inersia sebanding dengan percepatannya. Seperti tampak dalam gambar 1, gaya-gaya yang bekerja dalam arah derajat perpindahan kebebasan meliputi beban yang dikenakan  $F(t)$  dan tiga gaya yang diakibatkan oleh gerak, yaitu gaya inersia  $f_i$ , gaya redaman  $f_D$ , dan gaya pegas elastik  $f_s$ .

Menurut **Clough** dan **Penzien** (1975), persamaan gerak sistem merupakan pernyataan keseimbangan gaya-gaya tersebut, yaitu

$$f_I + f_D + f_s = F(t) \dots \dots \dots (1)$$

Ruas kiri dari persamaan (1) merupakan gaya-gaya yang merupakan fungsi dari perpindahan  $y$  atau turunannya, dan berlawanan arah dengan arah beban  $F(t)$ .

Gaya elastis merupakan perkalian antara kekakuan pegas  $k$  dan perpindahan  $y$ ,

$$f_s = k y \dots \dots \dots (2.a)$$

gaya inersia didapatkan dari perkalian antara massa  $m$  dengan percepatan  $\ddot{y}$ ,

$$f_I = m \ddot{y} \dots \dots \dots (2.b)$$

Sedangkan gaya redaman didapatkan dari perkalian antara konstanta redaman  $c$  dengan kecepatan  $\dot{y}$ ,

$$f_D = c \dot{y} \dots \dots \dots (c)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (2) ke dalam persamaan (1) akan menghasilkan persamaan gerak

sistem berderajat kebebasan tunggal yang baru, yaitu,

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F(t) \dots\dots (3)$$

Apabila sistem tidak dipengaruhi oleh gaya luar atau  $F(t) = 0$  dan dianggap tidak ada mekanisme kehilangan energi, maka sistem dapat dikatakan dalam kondisi getaran bebas tak teredam (*undamped free vibration*). Persamaan matematisnya diberikan dalam bentuk,

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = 0 \dots\dots (4)$$

#### b. Analisa Fourier

Getaran yang diakibatkan oleh orang yang bergerak secara dinamik (getaran ritmis) biasanya berupa fungsi getaran yang tidak teratur (random). Seperti fungsi yang lain, fungsi ini dapat dinyatakan dalam fungsi yang menerus atau fungsi diskrit dalam domain frekuensi dan dapat dibentuk bersesuaian dengan deskripsi fungsi dari deret fourier (**Paz**, 1985)

**Clough** dan **Penzien** (1975) mengemukakan bahwa deret fourier pertama kali dikembangkan menjadi *Discrete Fourier Transform* (DFT), dimana fungsi beban terhadap waktu dibagi dalam N pembagian waktu  $t$  yang sama, dan beban didefinisikan sebagai *discrete time*  $t_m = m \cdot t$ , dengan beban yang berkerja berupa beban harmonik. Namun demikian prosedur DFT ini masih membutuhkan waktu yang lama untuk perhitungannya.

Selanjutnya oleh **Cooley** dan **Tukey** pada tahun 1960-an, prosedur ini dikembangkan menjadi *Fast Fourier Transform* (FFT), yang memungkinkan perhitungan dalam konteks digital yang lebih cepat, ekonomis dan dapat diaplikasikan untuk keperluan yang lebih luas dan keperluan analisis (**Ramirez**, 1985).

Deret Fourier menyatakan bahwa fungsi periodik dan fungsi tidak periodik dalam masalah frekuensi

sebagai suatu alternatif pendekatan dapat dinyatakan dalam penjumlahan tak hingga dari besaran-besaran sinus dan coninus.

Deret Fourier secara kompak dapat dituliskan dalam persamaan 5.

$$F(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \{a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t\} \dots\dots(5)$$

dengan  $F(t)$  merupakan fungsi sembarang dari beban dengan periode tertentu. Sedangkan koefisien-koefisien dari persamaan 5 adalah.

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} F(t) dt \\ a_n &= \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} F(t) \cos n\omega t dt \\ b_n &= \frac{2}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} F(t) \sin n\omega t dt \end{aligned} \dots\dots(6)$$

#### c. Analisa Diskrit Fourier

Bila fungsi periodik  $F(t)$  diberikan hanya pada N selang waktu yang sama ( $t = T/N$ )  $t_0, t_1, t_2, \dots, t_{N-1}$ , dimana  $t_j = j \cdot t$ , maka integral pada persamaan 6 dapat diganti dengan penjumlahan-penjumlahan yang merupakan pendekatan

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{1}{T} \sum_{j=0}^{N-1} F(t_j) \cos n\omega_j \Delta t \\ a_n &= \frac{1}{T} \sum_{j=0}^{N-1} F(t_j) \sin n\omega_j \Delta t, \quad n = 0, 1, 2, \dots \end{aligned} \dots\dots(7)$$

dimana  $\omega = 2\pi/T$ . Pada kondisi ini persamaan 5 ditulis sebagai

$$F(t) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \{a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t\} \dots\dots(8)$$

Jika digunakan notasi bilangan kompleks, persamaan 7 dapat digabung kedalam bentuk tunggal dengan mendefinisikan,

$$C_n = a_n - ib_n \dots\dots(9)$$

Dengan menggunakan persamaan euler,

$$e^{-in\omega t_j} = \cos n\omega t_j - i \sin n\omega t_j \dots (10)$$

dan dengan mensubstitusikan persamaan 7 ke dalam persamaan 9, didapatkan persamaan

$$C_n = \frac{1}{T} \sum_{j=0}^{N-1} F(t_j) e^{-in\omega t_j} \Delta t \dots (11)$$

dan dengan mensubstitusikan  $t_j = j \cdot t$ ,  $T = N \cdot t$ , dan  $\omega = 2\pi/T$  ke dalam persamaan 11 akan menghasilkan

$$C_n = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} F(t_j) e^{-2\pi i(nj/N)}, \quad n = 0, 1, 2, \dots \dots (12)$$

Persamaan 12 merupakan formula pendekatan untuk menghitung koefisien diskrit fourier. Koefisien diskrit ini tidak memberikan informasi yang cukup untuk mendapatkan fungsi kontinu  $F(t)$ , melainkan memberikan nilai diskrit deret secara tepat (Newland, 1975). Fakta ini mengarah ke bentuk Transformasi Diskrit Fourier yaitu:

$$C_n = \frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} F(t_j) e^{-2\pi i(nj/N)}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, (N-1) \dots (13)$$

atau

$$F(t_j) = \sum_{n=0}^{N-1} C_n e^{2\pi i(nj/N)}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, (N-1) \dots (14)$$

Batas koefisien  $C_n$  dibatasi dari 0 sampai dengan  $(N-1)$  untuk mempertahankan sifat simetris dari transformasi persamaan 13 dan 14.

Setelah menyatakan fungsi diskrit sembarang oleh penjumlahan terbatas, bisa juga didapatkan fungsi diskrit dari respon osilator sederhana yang dipengaruhi oleh komponen harmonis fungsi bebannya. Dengan melibatkan unit eksponensial fungsi gaya  $E_n = e^{i\omega_n t}$  ke dalam persamaan gerak, didapatkan persamaan:

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = e^{i\omega_n t} \dots (15)$$

yang mempunyai solusi keadaan *steady state* dengan bentuk:

$$y(t) = H(\omega_n) e^{i\omega_n t} \dots (16)$$

Bila persamaan 16 disubstitusikan dalam persamaan 15 didapatkan fungsi  $H(\omega_n)$  yang merupakan fungsi respon frekuensi kompleks yang berbentuk

$$H\omega_n = \frac{1}{k - m\omega_n^2 + ic\omega_n} \dots (17)$$

dan dengan memasukkan rasio frekuensi dan rasio redaman, persamaan 17 menjadi

$$H\omega_n = \frac{1}{k(1 - r_n^2 + 2ir_n\xi_n)}$$

Sehingga respon  $y_n(t_j)$  pada waktu  $t_j = j \cdot t$  dari komponen gaya harmonis yang beramplitudo  $C_n$  seperti persamaan 14, diberikan oleh

$$y_n(t_j) = \frac{C_n e^{2\pi i(nj/N)}}{k(1 - r_n^2 + 2ir_n\xi_n)} \dots (18)$$

dan respon total akibat  $N$  komponen gaya harmonis adalah

$$y_n(t_j) = \sum_{n=0}^{N-1} \frac{C_n e^{2\pi i(nj/N)}}{k(1 - r_n^2 + 2ir_n\xi_n)} \dots (19)$$

dimana  $C_n$  dinyatakan dalam bentuk diskrit oleh persamaan 13.

#### d. Transformasi Cepat Fourier (Fast Fourier Transform)

Cara numerik yang praktis untuk komputer dalam menentukan respon dari domain frekuensi dikenal sebagai *Fast Fourier Transform* (FFT). Respon dari sistem SDOF akibat suatu gaya diberikan oleh persamaan 19 dan koefisiennya dihitung dengan menggunakan persamaan 13. Persamaan 19 kemudian dibuat dalam bentuk eksponensial sehingga menjadi :

$$A(j) = \sum_{n=0}^{N-1} A^{(0)}(n) W_N^{jn} \dots (20)$$

dimana

$$W_N = e^{2\pi i/N} \dots (21)$$

Evaluasi penambahan akan lebih tepat guna jika banyak pertambahan waktu  $N$  yang merupakan pembagi perioda  $T$  merupakan bilangan dari persamaan

$$N = 2^M$$

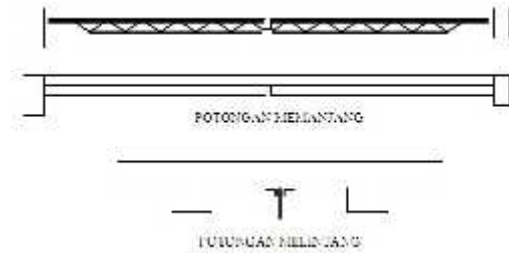
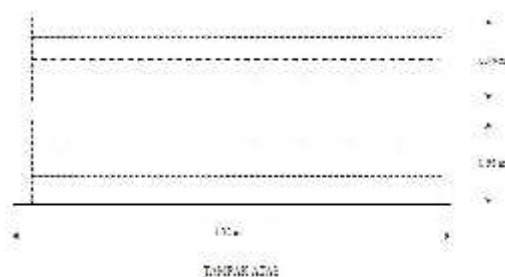
dengan  $M$  adalah bilangan bulat.

Perhitungan dengan metode FFT ini dapat dilakukan secara optimum dan cepat pada sebuah komputer sebab hasil dari satu langkah digunakan secara langsung pada langkah berikut, sehingga meghemat penggunaan memory komputer dalam pengoperasiannya.

### 3. CARA PENELITIAN

Penelitian eksperimental dilakukan di laboratorium struktur JTS FT UGM, dengan benda uji sebagaimana gambar 2. Beton yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah beton ready mix dengan mutu K-500, dengan menggunakan baja tulangan diameter 4, 6, dan 13 mm.

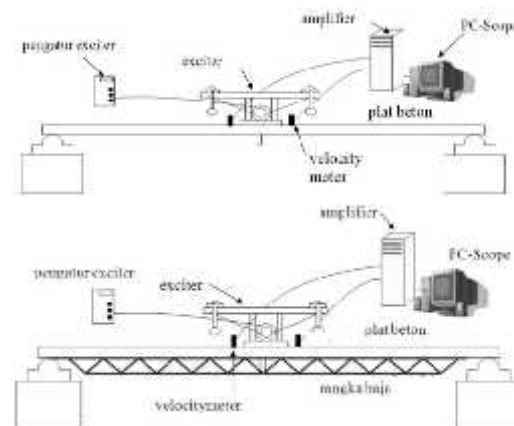
Plat beton yang dibuat terdiri dari 2 jenis plat dengan dimensi yang sama (Plat1 dan Plat2), namun Plat1 dilengkapi dengan baut yang diangkurkan pada sisi bawah plat untuk pemasangan rangka baja pengaku. Rangka baja pengaku yang dipakai dalam penelitian ini terdiri dari 3 jenis, yaitu rangka RK1, dengan menggunakan elemen baja penampang bundar dengan diameter 10 mm sebagai batang bawah dan diagonal, RK2 dengan menggunakan 3 buah baja penampang bundar 10 mm yang disusun bersisian, serta RK3 yang menggunakan baja penampang siku ganda dengan dimensi 2L 37,5 x 37,5 x 3 mm untuk seluruh elemen batang rangka tersebut.



Gambar 2. Benda uji

3.15

Peralatan yang digunakan adalah Rotating unbalance vibrator, PC-Scope, Penjumput sinyal getaran (velocitymeter), charge amplifier/sensor amplifier, program FFT, dengan Setting up pengujian dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Setting up pengujian

Penelitian didahului dengan analisis dan desain model yang dilakukan dengan menggunakan program software komputer, yang bertujuan untuk mendapatkan model dengan karakteristik dinamik berupa frekuensi alami dan redaman (damping) yang mendekati karakteristik gedung *prototype*, dan dapat diferifikasi dengan baik. Selanjutnya dilakukan penentuan dimensi struktur rangka baja yang akan digunakan yang memodelkan perbaikan *prototype*. Dimensi ini didasarkan pada karakteristik yang ingin dicapai, serta persyaratan geometris pada *prototype* untuk memudahkan pemasangan.

Setelah seluruh benda uji siap maka pengujian dilaksanakan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan silinder, pengujian frekuensi alami struktur plat dan plat diperkaku, serta pengujian dinamik. Pengujian frekuensi alami struktur dilakukan dengan memberikan percepatan awal atau displacement awal

pada struktur. Selanjutnya *logaritmik decreement* yang dihasilkan oleh struktur kemudian direkam oleh sensor velocitymeter dan dihitung menggunakan metode FFT untuk mendapatkan frekuensi naturalnya. Sedangkan pengujian ragam perpindahan dilakukan dengan memberikan gaya dinamis harmonis pada benda uji dengan exciter yang mempunyai bandul dengan massa yang dapat divariasikan, kemudian respon struktur direkam oleh velocitymeter yang terpasang pada tengah bentang untuk selanjutnya dioleh menggunakan PCScope dan FFTScope.

## PEMBAHASAN

### Beton

menunjukkan bahwa kuat tekan karakteristik beton ( $f'_c$ ) adalah 32,5 MPa

MPa.

#### 4.2. Pengujian Karakteristik Frekuensi Natural Struktur

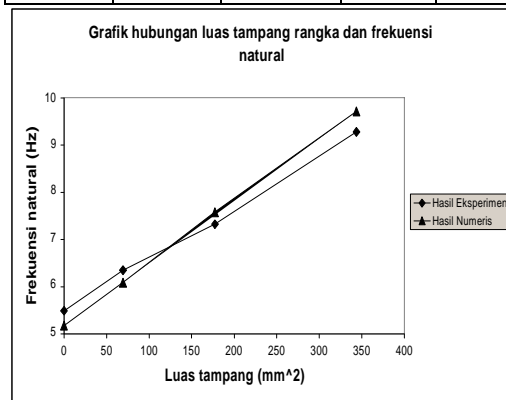
Pengujian frekuensi alami dilakukan setelah benda uji siap dengan lengkap dengan seluruh komponennya. Pengujian dilakukan terhadap benda uji Plat1, Plat1RK1, Plat1RK2, Plat2 dan Plat2RK3. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Dari hasil tersebut diatas dapat diketahui bahwa selisih antara hasil numeris dengan hasil eksperimen terbesar adalah 5,760 %, dan rata-rata 4,5034 %, yang menunjukkan korelasi yang baik antara hasil eksperimen dan numeris.

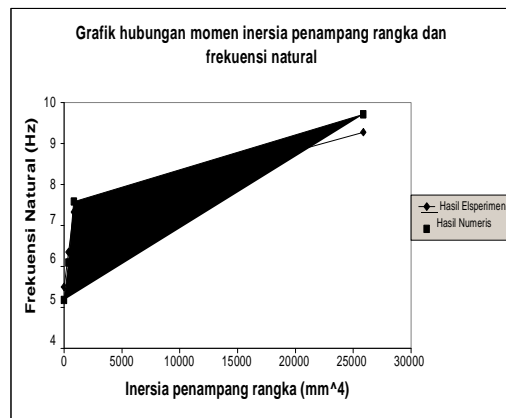
Dari pengujian keempat jenis kombinasi benda uji didapatkan hubungan antara sifat penampang rangka dengan frekuensi natural struktur. Sifat penampang yang diambil sebagai indikator adalah luas tampang dan inersia terhadap sumbu 2-2 masing-masing elemen rangka. Hubungan itu dapat dilihat pada tabel dan gambar 4 dan 5.

**Tabel 1 Perbandingan hasil dan kenaikan nilai frekuensi alami struktur**

Nama Benda Uji	Frekuensi alami		Selisih (%)	Kenaikan (%)
	Eksperimen (Hz)	Numeris (Hz)		
PLAT1	5.493	5.1766	5.760	-
PLAT2	5.493	5.1766	5.760	-
PLAT1 RK1	6.348	6.0904	4.058	15.56
PLAT1 RK2	7.324	7.5802	3.498	33.33
PLAT2 RK3	9.277	9.7128	4.698	68.88



**Gambar 4. Hubungan luas tampang rangka dengan frekuensi alami struktur**



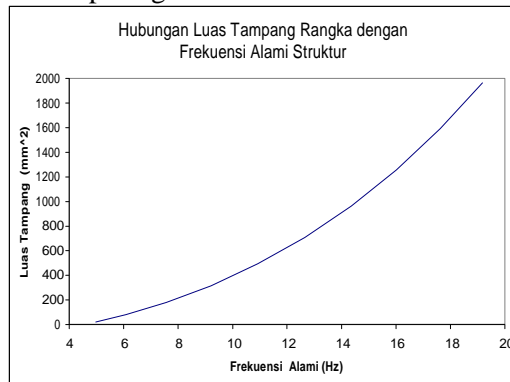
**Gambar 5. Hubungan inersia rangka dengan frekuensi alami struktur**

Dari gambar 4 dan 5 dapat dilihat bahwa hasil perhitungan dengan software komputer telah dapat merepresentasikan frekuensi alami struktur yang didapatkan dari penelitian eksperimen dengan baik. Hasil eksperimen dan numeris memberikan hubungan antara luas

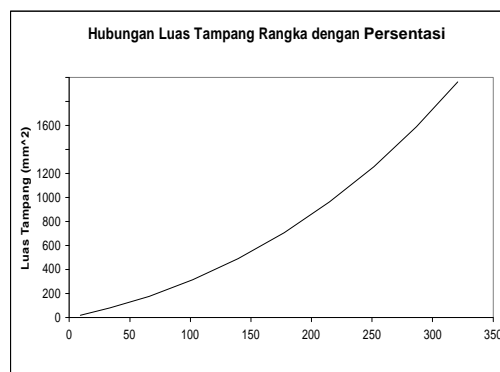


tampang elemen penampang rangka dengan frekuensi natural yang mendekati linier.

Namun dari model numeris diketahui bahwa hubungan antara luasampang elemen rangka dengan frekuensi natural ternyata tidak linier, tetapi pada bagian awal grafik tersebut dapat dianggap mendekati linier. Hubungan tersebut dapat dilihat pada gambar 6 dan 7.



**Gambar 6. Hubungan luas tampang rangka dengan frekuensi alami struktur**



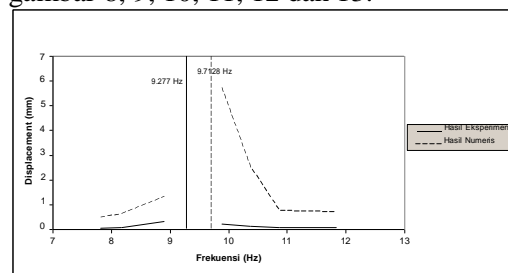
**persentasi peningkatan frekuensi alami struktur**

Dari hasil yang telah didapatkan diatas dapat disimpulkan bahwa hal yang paling efektif dilakukan untuk mencapai target frekuensi natural perbaikan plat lantai dengan pengaku rangka baja adalah dengan memvariasikan luas tampang elemen rangka, sedangkan inersia elemen rangka cukup ditinjau dalam menjamin kestabilan lokal masing-masing elemen rangka. Asumsi hubungan linier antara luas tampang rangka dan frekuensi natural dapat dipakai untuk perbaikan dengan target peningkatan frekuensi natural yang tidak tinggi.

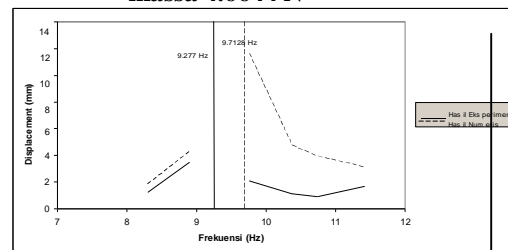
### 4.3. Pengujian Karakteristik Ragam Perpindahan (*Displacement*)

Pengujian ragam perpindahan dilakukan memberikan beban dinamik harmonis pada benda uji menggunakan exciter yang dilengkapi bandul massa yang dapat divariasikan. Besaran massa yang dipasang pada exciter dan frekuensi sudut putaran exciter akan menentukan gaya yang dihasilkan dalam fungsi waktu  $F(t)$  dalam fungsi sinusoidal yang ditentukan oleh persamaan  $F(t) = mr\omega^2 \cos \omega t$  yang akan diterima oleh benda uji. Untuk melakukan penjumlahan data respon struktur, diletakkan velocitometer pada tengah bentang yang terhubung dengan terminal pada PCScope.

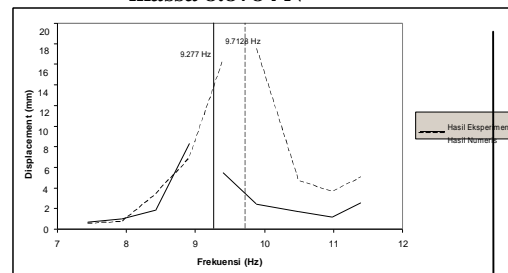
Ragam perpindahan pelat beton bertulang yang diperkaku dengan rangka baja untuk Pelat2RK3 dapat dilihat pada gambar 8, 9, 10, 11, 12 dan 13.



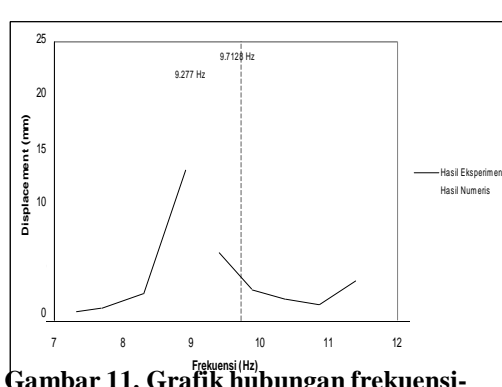
**Gambar 8. Grafik hubungan frekuensi-perpindahan plat2RK3 dengan massa 4.6644 N**



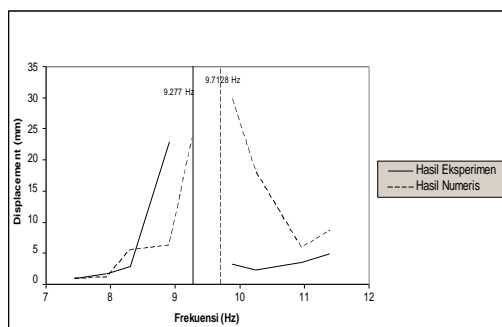
**Gambar 9. Grafik hubungan frekuensi-perpindahan plat2RK3 dengan massa 8.8784 N**



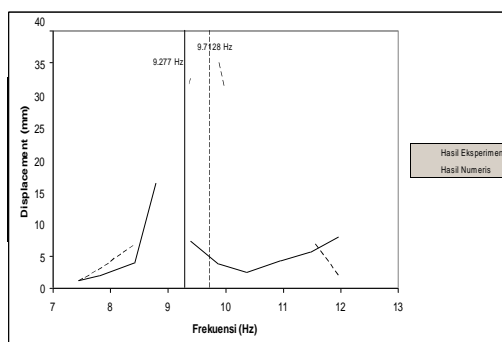
**Gambar 10. Grafik hubungan frekuensi-perpindahan plat2RK3 dengan massa 14.6644 N**



**Gambar 11. Grafik hubungan frekuensi-perpindahan plat2RK3 dengan massa 18.8784 N**



**Gambar 12. Grafik hubungan frekuensi-perpindahan plat2RK3 dengan massa 24.6644 N**



**Gambar 13. Grafik hubungan frekuensi-perpindahan plat2RK3 dengan massa 28.8784 N**

Dari grafik ragam perpindahan diatas dapat dilihat bahwa terjadi kecenderungan penurunan besaran displacement seiring dengan semakin jauhnya frekuensi pembebanan dari exciter dari frekuensi natural struktur baik dari hasil eksperimen maupun hasil numeris. Hal ini disebabkan oleh semakin kecilnya pengaruh resonansi yang terjadi.

Secara umum dapat dilihat bahwa besaran displacement yang didapatkan dari hasil eksperimen lebih kecil daripada hasil

pengujian dengan menggunakan massa bandul yang relatif rendah dan jauh dari frekuensi natural struktur. Namun besaran displacement kedua hasil diatas semakin

semakin besar, terutama pada frekuensi beban dibawah frekuensi natural.

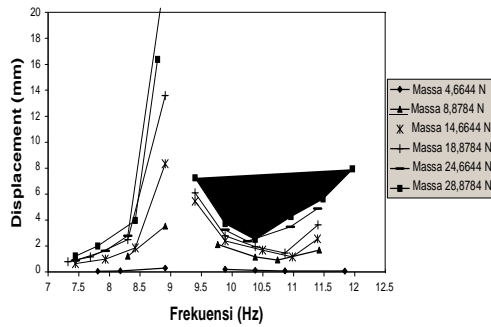
Pada ragam perpindahan diatas frekuensi natural struktur, ada kecenderungan besaran displacement meningkat setelah turun akibat semakin berkurangnya efek resonansi. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya gaya ekuivalen yang terjadi akibat nilai percepatan sudut yang semakin tinggi, sesuai dengan persamaan  $F(t) = mr\omega^2 \cos \omega t$ , dan juga kemungkinan frekuensi exciter yang semakin mendekati frekuensi

Grafik perbandingan sifat dan perilaku dinamik plat yang diperkaku dengan rangka baja dengan variasi massa exciter dapat dilihat pada gambar 14. Dari gambar 14 dapat dilihat bahwa nilai displacement semakin besar dengan semakin besarnya massa exciter, akibat semakin besarnya

$\omega$

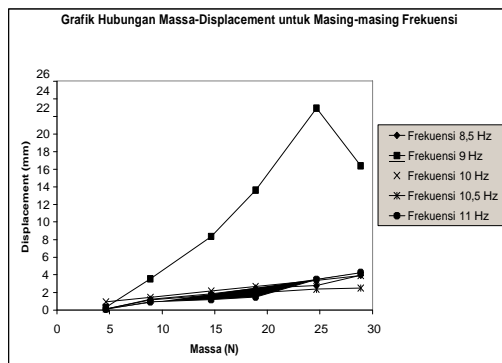
Hubungan antara besarnya massa pada *unbalance vibrator* atau gaya yang bekerja pada struktur dengan perpindahan maksimum di tengah bentang untuk masing-masing frekuensi pada pelat 2 yang dilengkapi dengan rangka RK3 dapat dilihat pada gambar 15. Pada grafik ini dapat dilihat bahwa ragam displacement yang terjadi semakin besar pada massa exciter yang relatif lebih besar. Secara teoritis, jika benda uji masih bersifat linier, maka akan terdapat hubungan yang linier antara amplitudo displacement dan amplitudo gaya dinamik, atau dengan kata lain hubungan yang linier antara amplitudo displacement dan massa exciter.





**Gambar 14. Grafik hubungan frekuensi-perpindahan plat 2 pada masing-masing massa bandul exciter**

Dari gambar 15 juga dapat disimpulkan bahwa laju perubahan besaran displacement semakin besar jika frekuensi beban dari exciter mendekati frekuensi natural struktur. Hal ini ditunjukkan oleh gradien grafik pada gambar 15, dimana gradien grafik akan semakin besar untuk displacement pada frekuensi yang mendekati frekuensi natural. Grafik ini tidak dapat dibuat dengan akurasi yang sempurna disebabkan oleh frekuensi exciter tidak dapat dikontrol dengan sempurna, sehingga frekuensi yang menjadi parameter adalah frekuensi pendekatan.

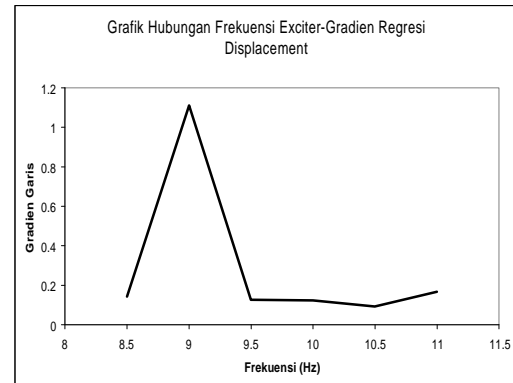


**Gambar 15. Hubungan massa-perpindahan pada pelat 1 dengan RK3**

Sedangkan nilai gradien grafik displacement hasil regresi untuk masing-masing frekuensi dapat dilihat pada grafik 16 dengan lebih jelas.

Dari gambar 15 dan 16 dapat disimpulkan bahwa pada struktur yang mengalami pembebanan dinamik dengan frekuensi yang lebih dekat pada frekuensi alami struktur maka sensitivitas respon

struktur tersebut lebih tinggi dibanding dengan struktur yang dibebani dengan frekuensi yang relatif lebih jauh dari frekuensi natural. Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk mencegah respon struktur yang berlebihan yang akan menyebabkan kerusakan pada struktur, selain membatasi nilai frekuensi beban dinamik yang harus bekerja, juga dilakukan pembatasan besaran amplitudo maksimum beban dinamik tersebut.



**Gambar 16. Nilai gradien grafik displacement hasil regresi**

Dari kesimpulan diatas dapat dinyatakan bahwa dalam desain perilaku dinamik plat, perlu dinyatakan batasan massa atau beban hidup dinamik yang boleh berada pada struktur tersebut. Selanjutnya besaran frekuensi beban yang paling mendekati frekuensi alami struktur yang boleh terjadi pada beban hidup dapat ditentukan dengan memberikan batasan pada respon struktur maksimum yang boleh terjadi. Dari frekuensi beban ini dapat ditentukan frekuensi target yang harus dicapai setelah perbaikan untuk mendapatkan hasil yang efisien.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Dari hasil pengujian frekuensi alami benda uji, didapatkan nilai frekuensi alami plat, plat dengan rangka RK1, plat dengan rangka RK2 dan plat dengan rangka RK3 berturut-turut adalah 5,493 Hz, 6,348 Hz, 7,324 Hz dan 9,277 Hz. Sedangkan hasil numeris dengan software komputer berturut-turut sebesar 5,1766 Hz, 6,0904 Hz, 7,5802 Hz dan 9,7128 Hz. Selisih antara hasil numeris dan hasil eksperimen berturut-turut sebesar

- 5,76 %, 4,058 %, 3,498 % dan 4,698 % dengan selisih rata-rata sebesar 4,0534 %, sehingga dapat dinyatakan bahwa analisis dengan software komputer telah diverifikasi dan dinyatakan dapat digunakan dalam analisis dinamik plat lantai tersebut.
2. Dari hasil eksperimen dan hasil numeris didapatkan hubungan yang sebanding antara penambahan luas tampang rangka dengan peningkatan frekuensi natural struktur.
  3. Perbaikan plat lantai dengan menambah pangaku rangka baja cenderung dilakukan setelah terjadi tegangan awal pada plat beton pada saat plat baja belum menerima tegangan. Untuk itu perlu dipelajari pengaruh besarnya tegangan awal pada plat beton atau selisih tegangan antara plat dan rangka terhadap peningkatan frekuensi alami struktur.
  4. Perlu dilakukan studi yang lebih lanjut mengenai karakteristik redaman getaran dinamik pada plat lantai dengan pengaku rangka baja.
  5. Penambahan rangka baja pada bentang plat cenderung merubah sifat momen yang bekerja pada plat tersebut, sehingga dalam perancangan perbaikan yang akan dilakukan, pertimbangan ini harus dimasukkan dalam perencanaan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. Allen, D.E., T.M. Murray, **Design Criterion for Vibrations Due to Walking**
2. Allen, D.E., J.H. Rainer, **CBD-173 Floor Vibration**, National Research Council of Canada (Originally published September 1975)
3. Basuki, A., 2003, **Metode Perbaikan Plat Beton Bertulang dengan Pengaku Rangka Baja**, Thesis S2 UGM, Yogyakarta
4. Darman, 2000, **Tinjauan Analisis Dinamin Plat Lantai dengan Sistem Grid Berbentang Panjang (Studi Kasus Gedung Auditorium UGM)**, Tugas Akhir S1 UGM, Yogyakarta
5. Kurniawan, A., 2001, **Karakteristik Dinamik Struktur Plat-Balok Lantai**

**Beton Bertulang Bentang Panjang (Studi Kasus Pelat Lantai Dua Gedung Graha Sabha Pramana UGM)**, Thesis S2 UGM, Yogyakarta

6. Rainer, J.H., G. Pernica, 1981, **Damping of Floor Sample, Dynamic Response of Structure : Experimental, Observation, Prediction and Control**, ASCE Journal, Atlanta